جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره بیست، زمستان ۱۳۹۵

صص ۱۳٤- ۱۰۹

DOI: 10.22067/geo.v5i4.56072

واکاوی همدید – ماهواره‌ای موج بارشی سنگین استان چهارمحال و بختیاری

بهروز سبحانی- دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی ، اردبیل ایران

مهدی عالی جهان[1]- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی ، اردبیل ایران

بتول زینالی- استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی ، اردبیل ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۲/۲۹ تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۸/۵

چکیده

این تحقیق با رویکرد همدید – ماهواره‌ای جهت بررسی ریشه‌های جویّ رخ‌داد موج بارشی ابر سنگین استان چهارمحال و بختیاری و ارزیابی دقت ماهواره TRMM در برآورد مقدار بارش این منطقه صورت گرفته و براساس سه دسته داده، داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های استان چهارمحال و بختیاری، داده‌های سطوح فوقانی جو و داده‌های 3B42 ماهواره TRMM به انجام رسیده است. ابتدا نقشه‌های جوی ترسیم شده و مورد تحلیل قرار گرفت. سپس جهت آشکارسازی بارش رخداده و ارزیابی دقت عملکرد ماهواره TRMMمقدار بارش ثبت شده توسط ماهواره با استفاده از مدل زمین آمار (کریجینگ) مورد پهنه‌بندی قرار گرفت و با مقدار مشاهده‌ای ارزیابی شد. ترسیم و تحلیل نقشه‌های جوی نشان داد که گرادیان فشار حاصل شده بین پرفشارهای مستقر بر روی اروپای مرکزی، شمال خزر و غرب چین، با کم فشارهای مستقر بر روی شمال غرب عربستان، خلیج‌فارس، غرب هندوستان و شمال غرب افریقا و از طرفی دیگر حاکمیت شرایط سیکلونیک در روزهای پایانی در سطح زمین همراه با رخ‌داد بلوکینگ در سطوح فوقانی و کشیده شدن فرودهای عمیق ناشی از آن‌ها بر روی منطقه مورد مطالعه در ترازهای ۵۰۰، ٦۰۰، ۷۰۰، ۸۵۰ هکتوپاسکال، همچنین بالاسو بودن جریان هوا در جو (امگای منفی) که مبین صعود هوا و تقویت جریانات همرفتی در ترازهای یاد شده بوده و باعث ناپایداری و واگرایی شدید شده با منفی بودن پیچانه-های جوی در ترازهای ۸۵۰، ۹۲۵، ۱۰۰۰ هکتوپاسکال شرایط مساعد جهت رخ‌داد بارش سنگین مهیا شده است. از طرفی با تأمین و تغذیه عمده رطوبتی توسط دریای سرخ در ترازهای ۵۰۰، ٦۰۰، ۷۰۰ هکتوپاسکال و خلیج‌فارس در ترازهای ۸۵۰، ۹۲۵، ۱۰۰۰ هکتوپاسکال و درنهایت وجود کلیه شرایط ذکر شده با حاکمیت و استقرار رودباد قوی و شدید بر روی بیشتر نقاط ایران در روزهای مطالعاتی باعث

---

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱٤۱۵۳۷۷۹۸

Email: mehdi_alijahan@yahoo.com

تشدید ناهنجاری‌ها و ناپایداری جوی در منطقه مورد مطالعه شده و درنتیجه بارش سنگین ۵۵۱ میلی‌متری را به دنبال داشته است. با توجه به برآورد بارش صورت گرفته توسط ماهواره TRMM و مقایسه آن با مقادیر ثبت شده توسط ایستگاه‌های مشاهداتی مشخص می‌گردد که ماهواره TRMM از دقت کافی جهت تخمین و برآورد بارش در این منطقه برخوردار نبوده و در اکثر ایستگاه‌ها برآوردی بیشتر از حد مشاهده شده انجام شده است؛ به‌نحوی‌که همبستگی و ضریب تعیین بین آن‌ها به ترتیب برابر با ۰/۲۲ و ۰/۰۵ درصد است.

کلیدواژه‌ها: تحلیل همدید، ماهواره TRMM، مخاطره اقلیمی، بارش سنگین، استان چهارمحال و بختیاری.

۱. مقدمه

بارش نه‌تنها در زندگی بشر، بلکه در زندگی گیاهان و جانوران از ارزش حیاتی برخوردار بوده و جزء جدانشدنی طبیعت محسوب می‌گردد (صلاحی و عالی‌جهان، ۱۳۹۲: ۷٤). همرفت‌های عمیق مرطوب اغلب به چند دسته یا خطوط سازماندهی می‌شوند که بسیار بزرگ‌تر از ابعاد صعودهای تک سلولی هستند، این گروه سازماندهی شده از ابرها در مجموع یک سیستم همرفتی مقیاس متوسط شناخته می‌شود (شوماخر[1]، ۲۰۰۹: ۱۵٤۳). تعامل بین سلول‌های همرفتی مقیاس متوسط و شرایط سینوپتیکی منجر به رخ‌داد بارش‌های سنگین شده که می‌تواند در مناطق خاصی منجر به ایجاد سیلاب گردد (کاوالکانتی[2]، ۲۰۱۲: ۲۸). همرفت‌های عمیق مرطوب، نتیجه تعامل فرآیندهای فعال در مقیاس‌های زمانی – مکانی متفاوت می‌باشد (داسول[3]، ۱۹۸۷: ۳). هنگامی‌که تروپوسفر مرطوب که ناپایدار مشروط می‌باشد و یک سیستم متوسط مقیاس قادر به صعود توده هوای ناپایدار باشند در این مکان در این لحظه انتظار شکل‌گیری یک سیستم مرطوب عمیق همرفتی می‌رود (داسول و همکاران[4]، ۱۹۹٦: ٥٦۱) و در پی آن بارش سنگین به وقوع می‌پیوندد. به واسطه چرخه کوتاه مدت سلول‌های همرفتی منفرد، مخصوصاً هنگامی‌که سلول‌های مختلف به‌وجود می‌آیند و در داخل سیستم‌های همرفتی مقیاس متوسط حرکت می‌کنند، بارش‌های سنگین به ثبت می‌رسند. بخصوص امکان وقوع بارش‌های شدید درنتیجه عبور آهسته و سازمان یافته سیستم‌های همرفتی مقیاس متوسط که به صورت سلول‌های متعدد و پی در پی از روی منطقه‌ای عبور پیدا می‌کنند بسیار محتمل‌تر می‌باشد (داسول و همکاران، ۱۹۹٦: ٥٦۳ و شوماخر و جانسون[5]، ۲۰۰٥: ۱۳۲). بارش‌های سنگین پتانسیل این را دارد که در اکثر مناطق جهان به‌عنوان یک مخاطره بسیار خطرناک تبدیل شود. همچنان که ما شاهد وقوع سیلاب و کشته شدن بسیاری از مردم در جای جای جهان توسط سیلاب‌ها بودیم (داسول، ۱۹۹۸: ۱۰۲). بارش‌های شدید می‌تواند اثرات اجتماعی بسیار

1 Schumacher
2 Cavalcanti
3 Doswell
4 Doswell, et al.
5 Schumacher & Johnson

شدیدی، از قبیل سیلاب‌های ناگهانی که می‌تواند منجر به خسارت، آسیب و مرگ شود، را در پی داشته باشد. با وجود نیاز بسیار مبرم برای پیش‌بینی‌های دقیق و هشدار بارش‌های شدید که می‌تواند سیلاب‌های ناگهانی تولید بکند، پیش‌بینی بارش‌های سنگین فصول گرم سال همچنان به‌عنوان یکی از چالش‌های بسیار سخت در فرآیند عملیات پیش‌بینی محسوب می‌گردد (شوماخر و جانسون، ۲۰۰۸: ۳۹٦٤). در ایران و در منطقه مورد مطالعه هم رخداد بارش‌های سنگین پدیده‌ای نامأنوسی نبوده و در نقاط مختلف کشور این پدیده به وقوع می‌پیوندد. اما با توجه به خشک و نیمه خشک بودن اقلیم کشور و تخریب و دستکاری‌هایی که بشر بر روی طبیعت انجام داده وقوع این چنین پدیده‌هایی با عکس‌العمل بسیار شدید محیط مواجه شده و منجر به وقوع سیلاب‌های شدید و مخرب در گستره ایران می‌گردد، که در سال‌های گذشته بارها و بارها این پدیده خطرناک جوی منجر به خسارت‌های جانی و مالی سنگینی در کشور شده است.

مطالعات زیادی در ارتباط با تحلیل ابعاد سینوپتیک رخداد سیلاب‌های ناشی از بارش‌های سنگین در سطح جهان به عمل آمده که از آن جمله می‌توان به مطالعه ارتباط الگوهای سینوپتیک با بارش‌های جنوب استرالیا توسط تربله[1] و همکاران (۲۰۰٤) الگوی سینوپتیک و منطقه‌ای بارش‌های سنگین در استرالیا توسط سایبرت، فرانک و فومایر[2] (۲۰۰۵) تحلیل فراوانی منطقه‌ای بارش‌های فرین منجر به سیلاب شدید ۲۹ آگوست ۲۰۰۳ در آلپ شرقی ایتالیا توسط نوربیاتو[3] و همکاران (۲۰۰۷) وتغییر پذیری روند رخداد بارش‌های فرین در بلغارستان توسط بوچوا و همکاران[4] (۲۰۰۸) اشاره کرد. تواردوز[5] (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای تحت عنوان تجزیه‌وتحلیل تغییرات روزانه بارش‌های ساعتی سنگین در کراکوف با استفاده از طبقه‌بندی انواع جریان گردشی جو در جنوب لهستان به تحلیل بارش سنگین پرداخته است. چربی و الحتروشی[6] (۲۰۰۹) در پژوهش خود شرایط سینوپتیک تغییرات بارش زمستانه در عمان را مورد بررسی قرار داده‌اند. از جمله تحقیقات دیگر که در سطح جهانی در رابطه با تحلیل بارش‌های سنگین صورت گرفته می‌توان به مطالعه مکانیزم توسعه جریان همرفتی در رخداد بارش‌های سنگین طولانی مدت در جنوب شرق ایتالیا توسط ماسترانگلو و همکاران[7] (۲۰۱۰) و روند بارش‌های فرین مرتبط با الگوهای سینوپتیک در جنوب شبه جزیره ایبری توسط هیدالگو مونز و همکاران[8] (۲۰۱۱) اشاره نمود.

در راستای بررسی بارش و مطالعه و ارزیابی آن توسط ماهواره TRMM در سطح جهانی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

---

1 Treble et al.
2 frank & Fumaber
3 Norbiato
4 Bocheva et al.
5 Twardosz
6 Charabi & Al-Hatrushi
7 Mastrangelo et al.
8 Hidalgo-Muñoz et al.

جیو و همکاران[1] (۲۰۱۰)، به ارزیابی هیدرولوژیکی داده‌های TRMM با داده‌های ثبت شده توسط باران‌سنج‌ها در حوضه رودخانه یانگتزه پرداختند. نتایج کار آنان حاکی از برآورد بالای TRMM در دوره‌های مرطوب و برآورد پایین بارش در دوره‌های گرم و خشک سال دارد. درنتیجه آن‌ها پیشنهاد می‌کنند که داده‌های بارشی ماهواره‌های TRMM را می‌توانند به‌عنوان داده‌های تناوبی برای مدل‌های هیدرولوژیکی بزرگ مقیاس استفاده کنند. در پژوهشی دیگر موفیت و همکاران[2] (۲۰۱۱)، به اعتبار سنجی داده‌های ماهواره TRMM جهت آشکارسازی و تشخیص سیلاب‌ها در بنگلادش پرداختند. آن‌ها به این نتیجه دست یافتند که استفاده از داده‌های ماهواره TRMM در تشخیص سیلاب در مناطقی که مستعد سیلاب هستند مثل بنگلادش بسیار مفید می‌باشد. المزرویی[3] (۲۰۱۱)، به واسنجی داده-های ماهواره TRMM در عربستان صعودی پرداخت. نتایج کار این پژوهشگر نشانگر تخمین نزدیک به واقعیت ماهواره TRMM در برآورد بارش سالانه عربستان می‌باشد. به‌نحوی‌که میانگین بارندگی سالانه ثبت شده عربستان توسط ایستگاه‌های مشاهده‌ای ۸۲/۲۹ میلی‌متر بوده و مقدار بارش برآوردی TRMM برابر با ۸۲/۴۲ میلی‌متر می‌باشد. از این نظر ایشان استفاده از داده‌های ماهواره TRMM جهت بکارگیری مدل‌های مختلف مرتبط با آب در این منطقه را توصیه می‌کنند. مانتاس و همکاران[4] (۲۰۱۴)، در پژوهش خود به این نتیجه دست یافتند که داده‌های نسخه ۷ ماهواره TRMM تحت عنوان آنالیز بارش ماهواره چندگانه (TMPA) تطابق خوبی با مقادیر بارش اندازه‌گیری شده توسط باران‌سنج‌ها دارد این امر مخصوصاً در دوره‌های طولانی مدت بسیار محرز و مشخص می‌باشد. در پژوهشی دیگر که توسط پارکاش و همکاران[5] (۲۰۱۵)، انجام گرفته خصوصیات خطای محصولات (TMPA-3B42) ماهواره TRMM در منطقه هندوستان مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج کار آنان نشان می‌دهد با اینکه هر دو داده (TMPA-RT) و (TMPA-V7) در برآورد میانگین بارندگی عملکرد قابل قبولی داشتند اما هر دوی آن‌ها برآورد مازادی مخصوصاً در مناطق کوهستانی از خود نشان دادند. با این حال V7 عملکرد بسیار بهتری نسبت به RT در برآورد بارش از خود نشان داد. از طرفی آن‌ها دست یافتند که هر دو دسته داده در مناطق پیچیده توپوگرافی هندوستان خطای سیتماتیک بسیار زیادی دارند.

پومبو و الیویرا[6] (۲۰۱۵)، به ارزیابی برآورد بارش‌های حدی با استفاده از داده‌های ماهواره TRMM در منطقه آنگولا پرداختند. نتایج کار آن‌ها حاکی از برآورد کمتر مجموع سالانه حداکثر بارش‌های روزانه نسبت به مقادیر مشاهده‌ای دارد. پژوهشی همسو با این پژوهش توسط ناستوس و همکاران[7] (۲۰۱۵)، در یونان صورت گرفته است.

1 Gu, Yu et al.
2 Moffitt et al.
3 Almazroui
4 Mantas et al.
5 Prakash et al.
6 Pombo & de Oliveira
7 Nastos et al.

آن‌ها به ارزیابی داده‌های 3B43 ماهواره TRMM در برآورد بارش یوانان پرداختند. نتایج حاصل شده از کار آنان دلالت بر آن دارد که محصولات ماهواره‌ای عملکرد ضعیفی در برآورد مجموع حداکثر بارندگی ماهانه بر فراز یوانان دارد. بایک و چوی[1] (۲۰۱۵)، داده‌های TRMM را با داده‌های ایستگاه‌های زمینی و داده‌های ماهواره‌ای COMS در کره جنوبی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج کار آنان نشان از برآورد پایین ماهواره TRMM نسبت به داه‌های ثبت شده ایستگاه‌ها می‌باشد. همچنین آن‌ها دست یافتند نتایج حاصل شده از داده‌های ماهواره COMS بهترین ارزیابی را از میزان بارش انجام داده و می‌تواند بهترین داده جهت استفاده در مدل‌های مختلف هیدرولوژیکی باشد.

در ایران نیز تحقیقات زیادی در رابطه با تجزیه و تحلیل سینوپتیک بارش‌های سنگین به انجام رسیده است که از آن جمله می‌توان به پیش بینی وقوع سیلاب براساس موقعیت سینوپتیک در ساحل جنوبی دریای خزر توسط مرادی (۱۳۸۵) اشاره کرد. وی عقیده دارد که هرگاه در ساحل جنوبی دریای خزر و در سطح زمین، پشته پرفشار کوتاه ناشی از گسترش هوای سرد در منطقه استقرار یابد و در ترازهای میانی و بالایی جو نیز ناوه وجود داشته باشد شرایط لازم برای وقوع بارش‌های شدید مهیا می‌شود. صمدی (۱۳۸٦) عقیده دارد که وجود ناوه عمیق در شمال شرق اروپا و امتداد محور آن بر روی خزر و کشیدگی شمال غرب- جنوبی آنتی سیکلون مهاجر در غرب ناوه و سیکلون جبهه‌ای در شرق آن، هم جهت شدن حرکت آنتی سیکلون با حرکت سیکلونی جلو ناوه از یک طرف و حرکت نصف النهاری قابل ملاحظه جریان سطح میانی جو از سوی دیگر موجب تقویت تاوایی شده و همزمانی عوامل مذکور و نیز تشدید حداکثر اختلاف حرارتی بین هوای سرد قطبی و سطح آب دریا در پاییز باعث ریزش بارش‌های شدید و سیل آسای سال ۱۳۸۲ در ساحل جنوبی دریای خزر شده‌اند.

امیدوار (۱۳۸۷) معتقد است که توقف سیستم‌های بارانزا در صورت کسب رطوبت از منابع آبی جنوبی کشور و مدیترانه می‌تواند به وقوع سیل در یزد منجر شود. رضایی (۱۳۸۸) با تحلیل سینوپتیک ۳ الگوی سیل زا را شناسایی کرد. منشاء الگوی های چرخندی دریای مدیترانه و سیاه بوده و سامانه‌های واچرخندی نیز عمدتاً بر روی دریای خزر و به ندرت از دریای سیاه است. به عقیده محمدی و مسعودیان (۱۳۸۸) به دنبال ورود زبانه‌ای از پرفشار اروپا و دریای سیاه از شمال غرب کشور و گرادیان شدید آن با کم فشار عراق و ادغام رودباد های جنب حاره‌ای و جبهه قطبی بر روی عراق، وجود فرود بر روی قبرس و تغذیه رطوبتی خلیج‌فارس، دریای سرخ و مدیترانه و سیاه در ترازهای بالا منجر به بارش سنگین اتفاق افتاده در آبان ۱۳۷۳ شده‌اند. در این زمینه تحقیق مسعودیان و محمدی (۱۳۸۹) علت وقوع بارش‌های ابر سنگین را کشیده شدن رودبادها تا سطح ٦۰۰ هکتوپاسکال دانسته‌اند. پرنده خوزانی و لشگری (۱۳۸۹) عامل اصلی سیلاب‌های جنوب کشور را درنتیجه تقویت و تشدید مرکز کم فشار سودان و منطقه همگرایی دریای سرخ و در مواردی ادغام مرکز کم فشار سودان با مرکز فشار مدیترانه‌ای دانسته‌اند. کرمی و

1 Baik & Choi

همکاران (۱۳۸۹) منشاء سینوپتیک وقوع سیل در ایران را تقویت سامانه سیبری و گسترش آن بر روی آب‌های گرم و انتقال رطوبت به داخل ایران و عربستان تا آخرین ساعات بارش و نیز ریزش هوای سرد واچرخند آزور برای انتقال سامانه سودانی به عرض‌های بالاتر و ادغام آن با سامانه مدیترانه‌ای و وزش سرد عرض‌های بالا از ایسلند و سامانه ادغامی دانسته‌اند.

گندمکار (۱۳۸۹) عقیده دارد که ورود سامانه‌های سودانی علت سیلاب‌های بوشهر است که اگر با سامانه‌های مدیترانه همراه باشد شدیدترین سیلاب‌ها را تولید خواهد کرد. یاراحمدی و مریانجی (۱۳۹۰) معتقدند که وضعیت همگرایی و تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز ١٤ آبان ۱۳۸۳ مبین شرایط مساعد جریان‌های صعودی در جنوب غرب خزر و نوار غربی ایران بوده و این عوامل باعث تقویت بارش سنگین منجر به سیل در جنوب غرب خزر و غرب ایران گردیده است.

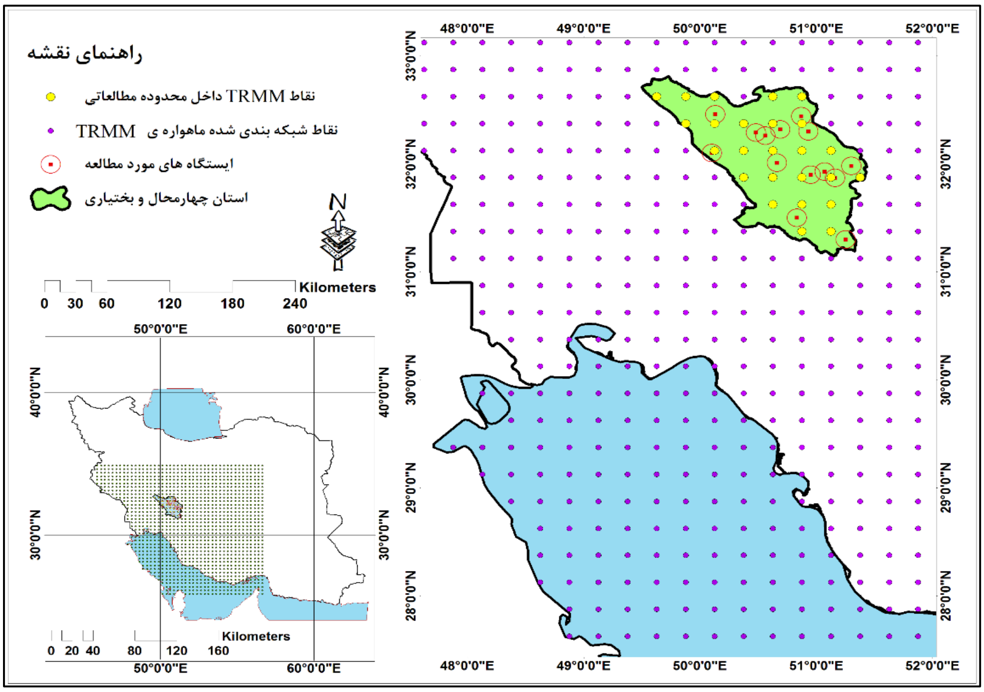
در ایران هم کم و بیش روی داده‌های بارشی ماهواره TRMM و ارزیابی آن با داده‌های مشاهداتی پژوهشی صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

حجازی‌زاده و همکاران (۱۳۹۱)، به ارزیابی داده‌های بارشی TRMM با داده‌های مشاهداتی در ایران پرداختند. نتایج آنان حاکی از برآورد زیاد بارش در مناطق کم بارش و برآورد کم در مناطق با بارش زیاد می‌باشد. همچنین آن‌ها به این نتیجه رسیدند در مناطق جنوب البرز، مناطق مرکزی و نواحی شرقی کشور دقت برآورد کم و در نواحی غربی و جنوب کشور دقت برآورد بالا می‌باشد. درنهایت آن‌ها استفاده از داده‌های TRMM را برای گستره ایران صحیح نمی‌دانند. در پژوهشی دیگر محمدیها و همکاران (۱۳۹۲)، داده‌های ماهواره TRMM، رادار تهران و ایستگاه‌های باران سنجی را با هم مورد مقایسه قرار دادند. نتایج آن‌ها حاکی از آن می‌باشد که در روز ۲۰۱۰/۱۱/۱ ماهواره TRMM مقادیر کمتری نسبت به رادار ثبت کرده و در روز ۲۰۱۰/۱۱/۲ این فرآیند بالعکس صورت گرفته است. مسعودیان و همکاران (۱۳۹۳)، به مقایسه داده‌های TRMM و داده‌های اسفزاری پرداختند. نتایج کار آن‌ها نشانگر نزدیکی این دو پایگاه داده به همدیگر می‌باشد. اما از نظر جغرافیایی در برخی مناطق کشور از قبیل رشته کوه‌های البرز و زاگرس داده‌های ماهواره‌ای دارای بیش برآورد و کم برآورد بوده که بیانگر عدم دقت آن در برآورد بارش مناطق کوهستانی دارد. در پژوهشی دیگر داده‌های بارشی ماهواره TRMM با داده‌های ایستگاه‌های زمینی در استان فارس توسط شیروانی و فخاری‌زاده (۱۳۹۳)، مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج این پژوهشگران در حالت کلی بیانگر وجود ارتباط همبستگی مثبت معنی دار در سطح ۵ درصد بین این دو پایگاه داده‌ای در بیشتر نقاط استان فارس می‌باشد. رسولی و همکاران (۱۳۹۳)، به مدل‌سازی بارش‌های رعد و برقی شمال غرب کشور با استفاده از داده‌های ماهواره TRMM پرداختند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد بین داده‌های بارش TRMM و ارتفاع منطقه ۰/٦۳ همبستگی مثبت وجود دارد که بیانگر افزایش مقدار بارش درنتیجه افزایش ارتفاع در منطقه می‌باشد.

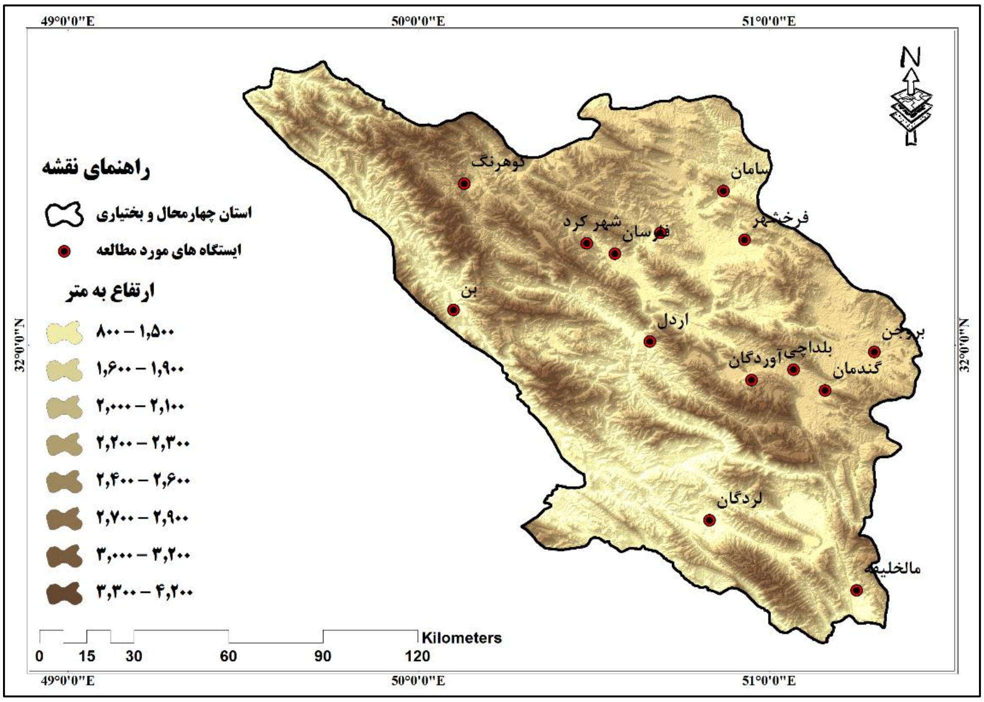
با این که همه ساله و به کرات بارش‌های سنگین و ابر سنگین در استان چهارمحال و بختیاری اتفاق می افتند، اما تحقیق جامعی که تمام ابعاد و سازوکارهای جوی مؤثر بر وقوع این بارش‌های سنگین را مورد بررسی قرار دهد، انجام نشده و به این دلیل تحقیق حاضر در راستای پر کردن خلأ مذکور سعی دارد که با تحلیل داده‌های سطوح فوقانی جو در ترازهای مختلف علل و ریشه‌های جوی منجر به بارش‌های سنگین در این منطقه را شناسایی و تحلیل نماید. از طرفی به دلیل کوهستانی بودن استان چهارمحال و بختیاری و نبود امکانات لازم جهت احداث ایستگاه‌های سینوپتیکی در بیشتر نقاط استان بررسی داده‌های ماهواره TRMM با مقادیر مشاهده‌ای و اعتبارسنجی آن از ارزش حیاطی برای این منطقه برخوردار می‌باشد. چراکه در صورت تخمین درست و دقیق ماهواره TRMM می‌توان از آن جهت تخمین و تحلیل بارندگی مناطق فاقد ایستگاه استفاده کرده و به‌عنوان داده ورودی قابل اطمینان برای بسیاری از مدل‌های هیدرولوژیکی، خشکسالی و غیره مورد استفاده قرار بگیرد.

۲. منطقه مورد مطالعه

استان چهارمحال و بختیاری با مساحت ۱۶/۵۳۳ کیلومتر مربع یک درصد از مساحت کشور را شامل می‌شود و ناحیه‌ای است مرتفع که در گستره فلات مرکزی ایران و در امتداد رشته کوه‌های زاگرس واقع شده است. از نظر موقعیت جغرافیایی، در حد فاصل ۳۱ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۲ درجه و ٤۸ دقیقه عرض شمالی و ٤۹ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲٦ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. نزدیک به ۸۰ درصد استان چهارمحال و بختیاری را کوه‌ها و تپه‌ها دربردارند. این کوه‌ها دارای ۱٦ قله با ارتفاع بیش از ۳۵۰۰ متر هستند. مرتفع‌ترین آن زردکوه با ارتفاع ٤۵٤۸ متر در شمال غرب است و پست‌ترین منطقه استان با ارتفاع ۸۰۰ متر در منطقه خروجی رودخانه کارون در محل پیوستن رودخانه خرسان به کارون قرار دارد. میزان بارش در این منطقه به اندازه‌ای است که ده درصد از آب کشور را تأمین و مناطق مرکزی ایران و دشت خوزستان را سیراب می‌کند؛ به گونه‌ای که سالانه ۷/٤ میلیارد متر مکعب آب از استان خارج و در سدهای شهید عباسپور و دز و زاینده رود ذخیره می‌شود (امیدوار و ترکی، ۱۳۹۱: ۱۳۹). اشکال (۱ و ۲) نقشه منطقه مورد مطالعه و مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک ۳۰ متر استان چهارمحال و بختیاری همراه با ایستگاه‌های مورد مطالعه در این پژوهش و نقاط تحت پوشش ماهواره TRMM را نشان می‌دهد.



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه



شکل ۲- نقشه مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک ۳۰ متر استان چهارمحال و بختیاری

۳. مواد و روش‌ها

در این پژوهش از سه دسته داده، داده‌های ایستگاه‌های زمینی، داده‌های سطوح فوقانی جـو و داده‌هـای مربـوط بـه ماهواره TRMM جهت تحلیل مـوج بارشـی سـنگین اسـتان چهارمحـال و بختیـاری اسـتفاده شـده اسـت. داده‌هـای ایستگاه‌های زمینی مورد استفاده در این پژوهش مربوط به داده‌های روزانه ایستگاه‌های موجود در اسـتان چهارمحـال و بختیاری می‌باشد که از روز ۸۸/۲/۶ برابر با ۲۵ آوریل ۲۰۰۹ میلادی تا روز ۸۸/۲/۱۳ برابر با ۲ می سال ۲۰۰۹ بـه ثبـت رسیده‌اند؛ می‌باشد. داده‌های سطوح فوقانی جو استفاده شـده عبـارت از داده‌هـای بازکـاوی شـده مؤلفـه‌هـای ارتفـاع ژئوپتانسیل، امگا، باد مداری، باد نصف النهاری، رطوبت ویژه، رطوبـت نسـبی، فشـار سـطح دریـا هسـتند کـه از وب سایت[1] متعلق به مرکز ملی پیش بینی محیطی (NCEP) اخذ گردیده‌اند.

پژوهش حاضر با رویکرد محیطی به گردشی انجام گرفتـه اسـت. در ایـن پـژوهش جهـت تحلیـل مـوج بارشـی سنگین ۵۵۱ میلی‌متری استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از داده‌های سطوح فوقـانی جـو ابتـدا نقشـه‌هـای فشـار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، جت استریم، پیچانه، وزش رطوبتی، حرکت قائم هوا ترسیم و سپس مورد تحلیـل قـرار گرفتند. جهت ترسیم و تحلیل نقشه‌های سینوپتیک علاوه بر نقشه فشار سطح دریا که بدون تراز جوی می‌باشـد، سـایر نقشه‌های جوی از ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال ترسیم شده و مـورد تحلیـل قـرار گرفتنـد. همچنـین ترسـیم و تحلیل نقشـه رودبادهـا در ترازهـای ۲۵۰ و ۳۰۰ هکتوپاسـکال انجـام گرفـت. تمـامی نقشـه‌هـا در محـدوده عـرض جغرافیایی ۷۰ – ۱۰ درجه شمالی و طول ۹۰– ۱۰ درجه شرقی طراحی شده و زمان مورد نظر جهت ترسـیم نقشـه‌هـا ۱۲ زولو (۱۵:۳۰به وقت محلی) برای تحلیل‌ها انتخاب شد.

۱-۳. ماهواره TRMM

TRMM یک مأموریت مشترک ماهواره‌ای بین ایالات متحده آمریکا و کشور ژاپن می‌باشد که جهت پایش بـارش مناطق حاره‌ای و جنب حاره‌ای و همچنین جهت برآورد گرمای نهان تبخیر مرتبط با بـارش طـرح‌ریـزی شـده اسـت. TRMM در ۲۷ نوامبر سال ۱۹۹۷ از مرکز فضایی تانگاشیمای کشور ژاپن به طور موفقیت آمیزی به فضـا پرتـاب شـد (کومرو و همکاران[2]، ۱۹۹۸: ۸۱۲). این ماهواره شامل تعدادی از ابزارآلات و ادوات مرتبط با بـارش از قبیـل رادار بـارش (PR)، سنسور مرئی و مادون قرمز (VIRS) و یک سنسـور ویـژه تصـاویر مـایکروویو (SSM/I) مـی‌باشـد (کـومرو و همکاران[3]، ۲۰۰۰: ۱۹۶۹، هافمن و همکاران[4]، ۲۰۰۷: ٤٢ و لئو و همکاران[5]، ۲۰۱۲: ۱۳۱۹). داده‌هـای TRMM 3B42 نسـخه ۷ این ماهواره از تاریخ ۲۲ می سال ۲۰۱۲ در دسترس عموم جهت استفاده قرار گرفت. کـه ایـن نسـخه دارای قـدرت

1 http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalisis
2 Kummerow et al.
3 Kummerow et al.
4 Huffman et al.
5 Liu et al.

تفکیک فضایی ۰/۲۵ درجه عرض جغرافیایی در ۰/۲۵ درجه طول جغرافیایی و قـدرت تفکیـک زمـانی ۳ سـاعته و ۱ روزه می‌باشد. تفاوت عمده بین داده‌های نسخه قدیمی و نسخه جدید استفاده شـده در ایـن پـژوهش ایـن اسـت کـه نسخه جدید یک طرح بهبود یافته جهت وزن دادن برای ترکیب با داده‌های باران سنج‌ها مـی‌باشـد (هـافمن و بولـوین[1]، ۲۰۱۳: ۱۰ و فلمینگ و آوانگه[2]، ۲۰۱۳: ٤٢۳).

جهت استفاده از داده‌های این ماهواره ابتدا داده‌ها از سایت[3] دانلود شده و سـپس یـک پایگـاه اطلاعـاتی در اکسـل تهیه گردید. جهت پهنه‌بندی داده‌های بارشی ماهواره TRMM مقادیر کمی داده‌ها به نـرم‌افـزار GIS انتقـال داده شـد و سپس با استفاده از مدل زمین آمار و روش کریجینگ که نسبت به سایر روش‌ها در بـرآورد بـارش داده‌هـای TRMM ضریب خطای کمتری داشت پهنه‌بندی بارش صورت گرفت.

۲-۳. روش کریجینگ

کریجینگ از این حیث که در آن وزن‌های مقادیر اندازه گیری شده‌ی مجـاور را بـرای اسـتنتاج پـیش بینـی در هـر موقعیتی به کار می‌برد، شبیه روش IDW است. اگر چه، وزن‌ها تنها مبتنی بر فاصله‌ی بین نقـاط انـدازه گیـری شـده و موقعیتی که قرار است پیش بینی صورت گیرد، نیست، بلکه مبتنی بر آرایش مکانی سرتاسری میان نقـاط انـدازه گیـری شده نیز می‌باشد. برای استفاده از آرایش مکانی در وزن دهی‌ها، کمیت خود همبستگی مکانی باید تعیین شـود. از بـین تابع همبستگی، کوواریانس و نیم تغییر نما برای نشان دادن پیوستگی مکانی داده‌ها نیم تغییرنما بیشـترین کـاربرد را بـه خود اختصاص می‌دهد. رابطه نیم تغییر نما به صورت زیر می‌باشد:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n} \left[z(x_i) - z(x_i + h) \right]^2$$

که در این رابطه $\gamma(h)$، مقدار نیم تغییرنما برای جفت نقاطی است که بـه فاصـله h از هـم قـرار دارنـد، $n(h)$، تعداد زوج نقاطی است که به فاصله h از هـم قـرار دارنـد، $z(x_i)$، مقـدار مشـاهده‌ای متغیـر x در موقعیـت i و $z(x_i + h)$، مقدار مشاهده‌ای متغیر در فاصله‌ی h از x_i است (اسفندیاری و همکاران،۱۳۹۳: ۵۲).

شرط استفاده از این تخمین گر این است که متغیر z دارای توزیع نرمال باشد. کریجینگ بهترین تخمین گـر خطـی ناریب است و عاری از خطای سیستماتیک می‌باشد، همچنین واریانس تخمین در آن نیز حداقل می‌باشد بنابراین:

$$E\left[Z(x_i) - \sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z^*(x_i) \right] = 0 \quad , \quad \sum_{i=1}^{n} \lambda_i = 1$$

1 Huffman & Bolvin
2 Fleming & Awange
3 http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/precipitation/tovas/

که در رابطه فوق $Z(x_i)$، مقدار مشاهده شده متغیر در نقطه iام با مختصات معلوم، $Z^*(x_i)$، مقدار تخمینی در همان نقطه iام، λ_i، وزن داده‌های مشاهده‌ای و E، امید ریاضی است. بنابراین شرط نااریبی کرجینگ بیانگر آن است که مجموع ضرایب وزنی تخمین باید مساوی واحد باشد. شرط دیگر در روش کریجینگ این است که واریانس تخمین باید حداقل باشد. اعمال این شرط به حل معادله ماتریسی زیر منتهی می‌شود:

$$AX = B \Rightarrow X = A^{-1}.B$$

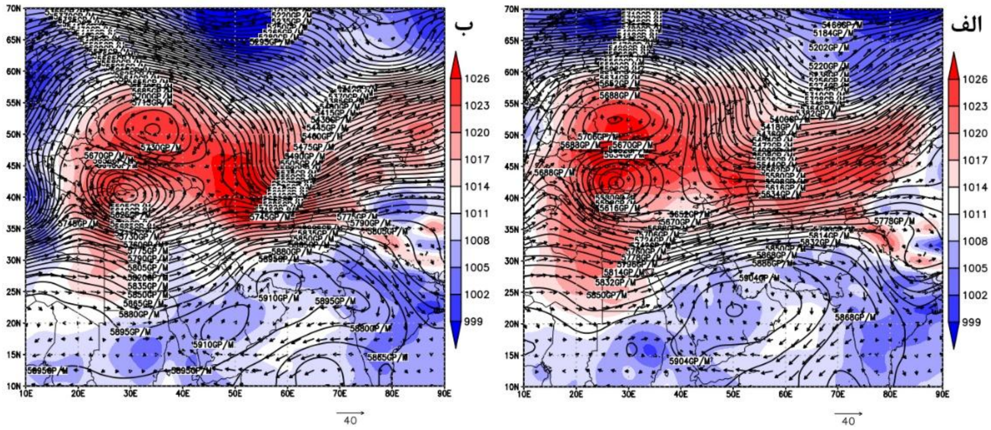
که در این رابطه A ماتریس γ_{ij}(مقدار مدل نیم تغییرنما بین نمونه‌های i و j)، B، ماتریس γ_{0i}(مقدار مدل نیم تغییرنما بین نقطه مجهول و نقاط نمونه i) و X، ماتریس ضرایب λ_i(مقدار نمونه iام برای تخمین نقطه مجهول) می‌باشد (قویدل رحیمی و همکاران،۱۳۹۳: ۲۱۸).

٤. بحث و نتایج

٤-١. فشار سطح زمین، ارتفاع ژئوپتانسیل و جریان باد

در اولین روز بارشی استان چهارمحال و بختیاری که برابر با ٦ اردیبهشت سال ۱۳۸۸ می‌باشد پدیده فشاری که دیده می‌شود تسلط سیستم فشاری پرفشار با محوریت مرکزی منطقه اروپای مرکزی و به تبع آن کشیده شدن زبانه‌هایی از آن بر فراز اروپای جنوبی، شمال افریقا، غرب آسیا، دریای خزر و نواحی شمالی کشور تا منطقه غرب چین می‌باشد که هسته‌های فشاری مجزایی به دلیل کوهستانی بودن این ناحیه با شدت فشاری بیشتری در آنجا تشکیل شده است. از سویی دیگر سیستم متضاد سیکلونی هم بر روی هندوستان (سیستم کم فشار دره گنگ)، عربستان (سیستم کم فشار عربستان) و شمال شرق افریقا (سیستم کم فشار سودانی) تشکیل شده و زبانه‌هایی از آن منطقه مورد مطالعه و بخش قابل توجهی از ایران را هم تحت تأثیر قرار می‌دهد. این سیستم فشاری مستقر بر روی منطقه با وارد شدن به روزهای بعد بارشی متحول شده و رفته رفته به سمت شرق جابه‌جا می‌شود به‌نحوی‌که در روز ۸ اردیبهشت سیستم پرفشار با شدت بسیار بیشتری بر روی آسیای مرکزی و خزر و نیمه شمالی کشور فعالیت می‌-کند که درنتیجه آن شیو فشاری حاصل شده و ناپایداری تولید شده هم بیشتر خواهد شد. بر اثر استقرار سیستم فشاری این چنین در سطح زمین در روزهای یاد شده اختلاف فاز فشار شدیدی بین پرفشارهای مستقر بر روی شمال منطقه مورد مطالعه و کم فشارهای مستقر بر روی جنوب آن شکل گرفته درنتیجه آن منجر به ناپایدار شدن و تقویت شرایط سیکلونیک بر فراز استان چهارمحال و بختیاری گشته و بر شدت جریانات همگرایی بین سیستم‌های یاد شده به شدت افزوده است. شرایط یاد شده از طرفی جذب و حمل رطوبت منابع رطوبتی مسیر گذری خود از قبیل دریای خزر، دریای سرخ و خلیج‌فارس را هم در پی داشته که رطوبت لازم جهت رخداد بارش چند روزه در این منطقه را فراهم کرده است.

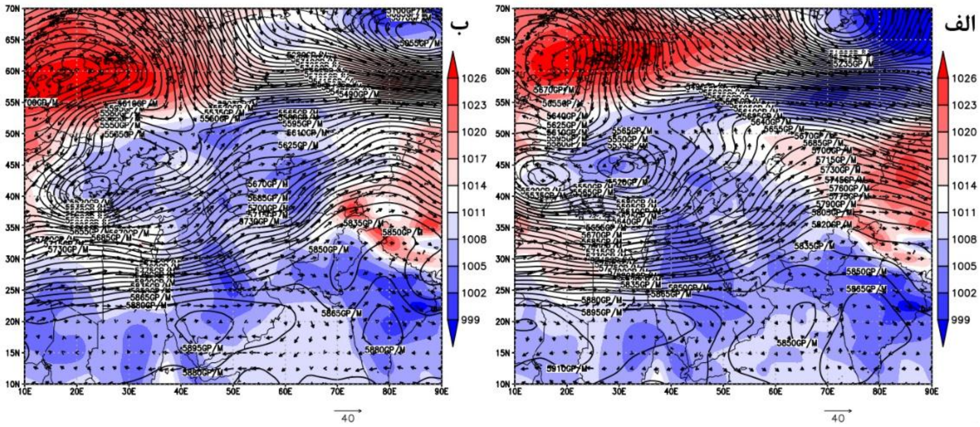
شرایط فشاری یاد شده در سطح زمین با شکل گیری بلوکینگ در سطوح فوقانی جو که به دلیـل چنـد روزه بـودن بارش پدیده دور از انتظاری نبوده و قرارگیری ایران در شرق ناوه متشکل از بلوکینگ، زمینـه‌هـای لازم جهـت رخـداد مـوج بارشـی را فـراهم کـرده اسـت. در تحلیـل نقشـه‌هـای ارتفـاع ژئوپتانسـیل جـو در ترازهـای ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال اولین پدیده‌ای که جلب توجه می‌کند شکل گیری بلوکینگ تیپیک نوع رکـس بـر روی اروپـای مرکـزی، ترکیه و تا حدودی روی شرق مدیترانه است که با رسیدن به روزهای پایانی به سمت شرق جابه‌جـا شـده و درنهایـت در روز ۱۰ اردیبهشت از بین رفته و سیستم جدیدی جایگزین آن می‌شود. با توجه به خاصیت موج‌هـای بلوکـه شـده نوع رکس برای عرض‌های جغرافیایی که در شمال دارای هوای سـرد و در جنـوب دارای هـوای گـرم اسـت، مقـدار گرادیان نرمال دما را کاهش داده و درنتیجه حرکت مداری باد را به حرکت نصف النهاری تبـدیل مـی‌کنـد کـه فراینـد مشروح منجر به تداوم زمانی چند روزه و حتی هفته‌ای سیستم‌های آب و هوایی همراه بـا آن شـده و درنتیجـه باعـث تداوم و شدت یافتن ناپایداری‌ها و ریزش بـارش سـنگین در منـاطق غربـی ایـران و مخصوصـاً اسـتان چهارمحـال و بختیاری شده است. دیگر پدیده‌ای که در این ترازها به عینه قابل تشخیص می‌باشـد کشـیده شـدن فرودهـایی از نـاوه ناشی از بلوکینگ یاد شده بر روی ناحیه غرب، شمال غرب و جنوب غرب ایران مـی‌باشـد. محـور نـاوه مربوطـه کـه محل حداکثر تاوایی می‌باشد در اولین روزهای بارشی در نزدیکی دریای سرخ بوده و با گذشـت زمـان و حرکـت بـه سمت روزهای پایانی به سمت شرق جابه‌جا شده که با تغییر حرکت جریان گردشی از همگرایی بـه واگرایـی در ایـن محل باعث شدت یافتن جریان باد و به دنبال آن ناپایداری‌ها و صعود بسیار شدید هـوا گشـته و بـا جـذب و حمـل رطوبت مسیر گذری خود از طریق فرودهای ناوه به داخل ایران وارد شده و با فراهم بودن شـرایط صـعودی و وجـود حداکثر ناپایداری در این قسمت از ناوه که منطقه مورد مطالعه هـم در آن قـرار دارد موجبـات رخـداد بـارش در ایـن ناحیه را فراهم کرده است.



شکل۳- نقشه فشار سطح زمین، ارتفاع ژئوپتانسیل و جریان وزش باد تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال الف: روز ۷ ب: روز ۸ اردیبهشت

با نزدیک شدن به روزهای پایانی بارشی سیستم پرفشار سطح زمین تضعیف شده و از مسیر آسیای مرکزی و ترکمنستان به سمت شرق جابه‌جا گشته و در روز ۱۱ اردیبهشت منطقه را ترک کرده و سیستم آب و هوایی جدیدی جایگزین سیستم قبلی می‌شود. سیستم فشاری جدیدی که منطقه را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد سیستم کم فشاری می‌باشد که آب و هوای کل ایران را تحت کنترل خود در آورده است. در روزهای ۱۱ و ۱۲ اردیبهشت پرفشارهایی بر روی اروپای شمالی، مرکزی، شمال افریقا و منطقه شرق آسیا (عمدتاً چین) مستقر می‌باشد و سیستم کم فشاری جای جای ایران، آسیای مرکزی، هندوستان، غرب آسیا و خاورمیانه را تحت تأثیر خود قرار داده است. شدت این سیکلون ها بر روی غرب هندوستان بیشتر بوده و زبانه‌هایی از آن جنوب شرق کشور را هم متأثر ساخته است. از طرفی کم فشاری هم بر روی شمال شرق عربستان تشکیل شده و با ارسال زبانه‌های خود بر روی غرب و جنوب غرب کشور سیستمی متشنج را بر منطقه مسلط ساخته است. در روز ۱۳ اردیبهشت که آخرین روز بارشی استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد پر فشار مستقر بر روی اروپا گسترش پیدا کرده و منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد به‌نحوی‌که شدت فشار بر روی منطقه مورد مطالعه به ۱۰۱٤ هکتوپاسکال می‌رسد. در این روز سیستم آب و هوایی غالبی که دیده می‌شود کم فشارهایی بر روی هندوستان که زبانه‌هایی از آن شرق و جنوب ایران را متأثر ساخته، شرق افریقا، خلیج‌فارس و عربستان می‌باشد. همچنین علارغم پرفشار شکل گرفته بر فراز اروپا بر روی غرب چین نیز پرفشاری با فشار هسته مرکزی ۱۰۲۰ هکتوپاسکال مستقر می‌باشد که در وضعیت ناپایداری منطقه بی تأثیر نبوده است.

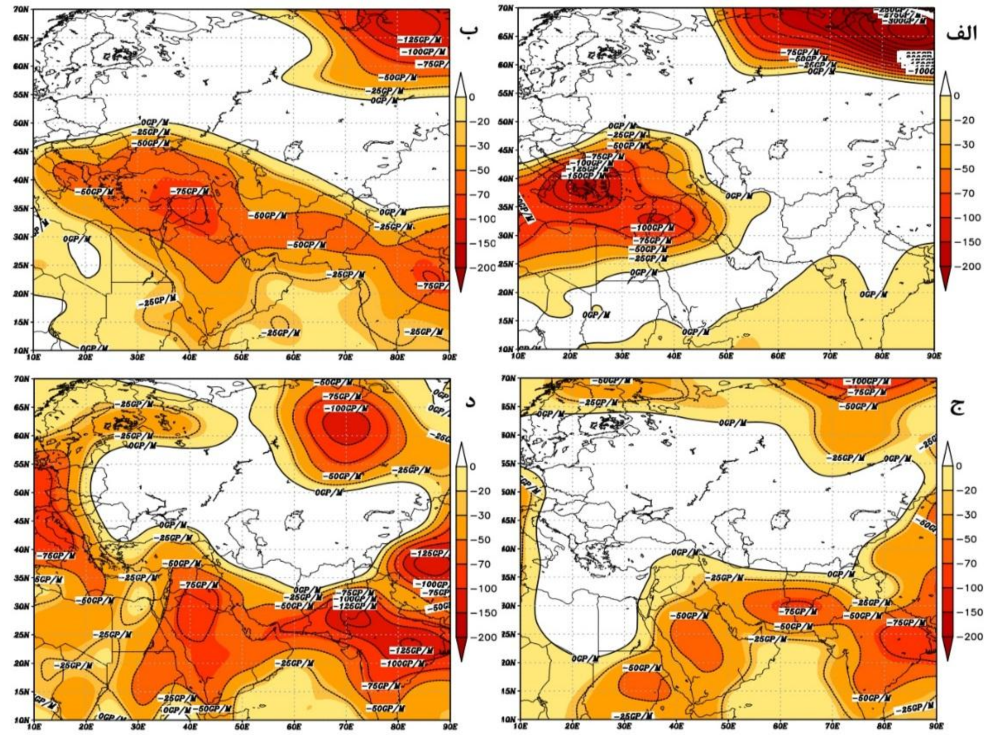
با خروج پرفشار تشکیل شده بر روی اروپا در روز ۱۰ اردیبهشت بلوکینگ رکس متشکل از این سیستم پرفشار نیز از بین رفته و با شکل گیری سیستم کم فشار از روز ۱۱ اردیبهشت بر روی اروپای جنوبی و شمال ترکیه بلوکینگ بریده کم فشاری به دنبال آن در ترازهای بالای جو ایجاد می‌گردد. با شکل گیری بلوکینگ مذکور ناوه‌ی نسبتاً عمیقی از شمال شرق افریقا تا دریای سرخ ایجاد شده است، که در روز ۱۲ اردیبهشت این ناوه عمیق‌تر شده و در روز آخر موج بارشی محور ناوه درست بر روی استان چهارمحال و بختیاری قرار می‌گیرد. با شکل گیری الگوی مذکور منطقه مورد مطالعه دچار آب و هوایی متشنج و ناپایدار شده است. در روزهای ذکر شده استان چهارمحال و بختیاری در جلوی فرود یا به عبارتی شرق ناوه که محل صعود توده هوا و چرخندگی مثبت می‌باشد قرار گرفته و با توجه به مسیر عبوری خود که از روی منابع رطوبتی دریای مدیترانه، دریای سرخ و خلیج‌فارس می‌گذرد رطوبت این منابع را به خود گرفته و با صعود هوای مرطوب در شرق ناوه موجبات بارش در این منطقه را فراهم کرده است. مکانیزم یاد شده از تراز ۵۰۰ تا ۷۰۰ هکتوپاسکال به روشنی دیده می‌شود.



شکل ٤- نقشه فشار سطح زمین، ارتفاع ژئوپتانسیل و جریان وزش باد تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال الف: روز ۱۱ ب: روز ۱۲ اردیبهشت

۲-٤. پیچانه‌های جوی

نقشه‌های پیچانه مربوط به ترازهای ۵۰۰، ٦۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال از روز ٦ اردیبهشت تا ۱۰ اردیبهشت نشان دهنده مثبت بودن مقادیر پیچانه بر روی ایران و منطقه مورد مطالعه است که نشان از پایداری و باروتروپیک بودن جو در این زمان بر روی ایران و استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد که تاوایی منفی را به دنبال داشته و باعث جریان نزولی هوا و یا به عبارتی فرونشینی هوا در این ترازها شده که باعث پایداری جو گشته و شرایط برای صعود دینامیکی هوا در این ترازها امکان پذیر نشده است. اما از روز ۱۱ تا ۱۳ اردیبهشت بر روی منطقه مورد مطالعه پیچانه منفی حاکم بوده که بیانگر ناپایدار بودن و روند صعودی جو در این روزها می‌باشد. در ترازهای نزدیک به سطح زمین شرایط به گونه دیگری تغییر پیدا می‌کند به طوری‌که در ترازهای ۸۵۰، ۹۲۵، ۱۰۰۰ هکتوپاسکال مقادیر منفی و جوی کژفشار بر روی ایران در تمامی روزهای مطالعاتی حاکم می‌شود که در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال یک مرکز منفی پیچانه درست بر روی شرق و مرکز ایران استقرار پیدا کرده است. اما در ترازهای ۹۲۵، ۱۰۰۰ هکتوپاسکال مقادیر منفی پیچانه گستردگی بیشتری پیدا کرده و به غیر از بخش کوچکی از ایران تمام نواحی را تحت تأثیر خود قرار داده و جوی کژفشار و ناپایدار برای ایران و منطقه مورد مطالعه ایجاد کرده که با جریان تاوایی مثبت شرایط برای صعود دینامیکی هوا در این ترازها محیا شده و جریان هوا حالت واگرایی پیدا کرده و با افزایش ناهنجاری‌های شدید جوی شرایط برای ریزش سنگین بارش در استان چهارمحال و بختیاری فراهم شده است.

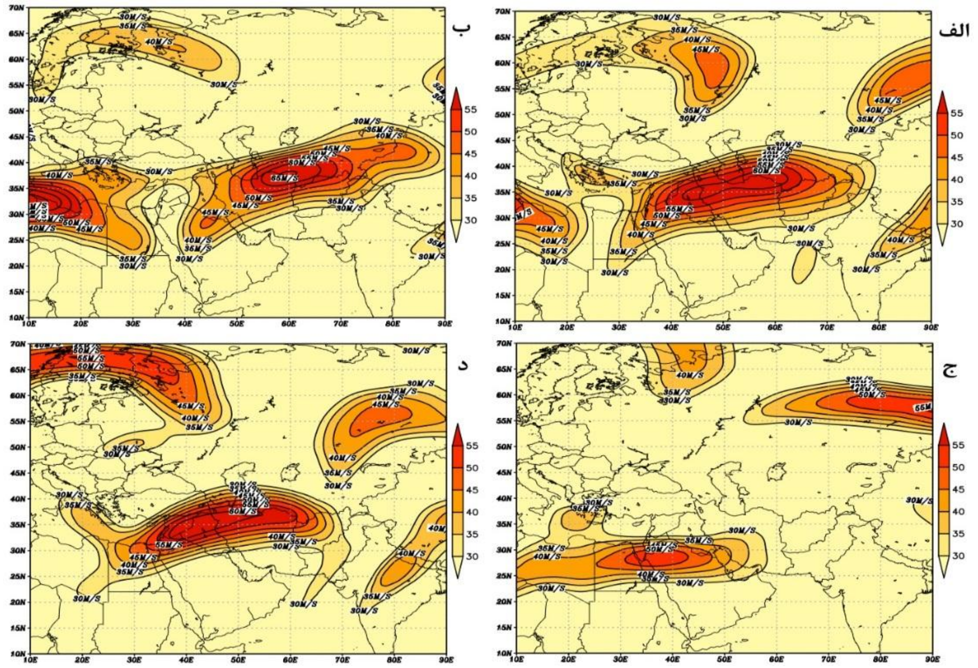


شکل ۵- نقشه پیچانه های جوی الف: روز ۱۲ اردیبهشت تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ب: روز ۱۱ اردیبهشت تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال ج: روز ۷ اردیبهشت تراز ۹۲۵ د: روز ۹ اردیبهشت تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال

۳-٤. رودبادهای جوی

نقشه‌های مربوط به رودبادهای تراز ۲۵۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد که به غیر از روزهای ۹، ۱۰ و ۱۱ اردیبهشت در زمان رخداد بارش سنگین استان چهارمحال و بختیاری رودباد جنب حاره با سرعت بسیار زیاد بر روی ایران، عراق، افغانستان، غرب چین، ترکمنستان، ترکیه، شرق مدیترانه و شمال عربستان مستقر است که هسته مرکزی این رودبادها در اغلب روزهای مورد مطالعه بر روی ایران استوار بوده و به جزء جنوب و جنوب شرق تمام ایران را در برگرفته است. ضخامت رودباد مربوطه تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال رسیده که شدت ناپایداری و تاثیری که می‌توانست روی بارش سنگین داشته باشد افزایش پیدا کرده است. در نقشه رودباد تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال سرعت هسته مرکزی رودباد تا ۷۰ متر بر ثانیه می‌رسد که در اکثر روزها با رودباد موجود بر روی شمال آفریقا ادغام گشته و بر شدت ناهنجاری‌ها افزوده شده است. در این تراز جوی سرعت رودباد جبهه قطبی بر روی منطقه مورد مطالعه به ٤۵ متر بر ثانیه می‌رسد. اما در رودباد تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال سرعت رودباد نسبت به تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال اندکی کاهش یافته به طوریکه سرعت هسته مرکزی آن برابر با ۵۵ متر بر ثانیه بوده واز رودباد موجود بر روی شمال آفریقا جدا شده و سرعت رودباد بر روی استان چهارمحال و بختیاری در این تراز به ٤۰ متر بر ثانیه رسیده است. در تمامی

ترازهای یاد شده قسمت افزایش تدریجی واگرایی رودباد بـر روی منطقـه مـورد مطالعـه بـوده کـه بـا جریـان شـدید صعودی همراه شده و شدت ناهنجاریهای جوی را تقویت کرده و درنتیجه باعث ریزش بارش سنگین در منطقه شـده است.

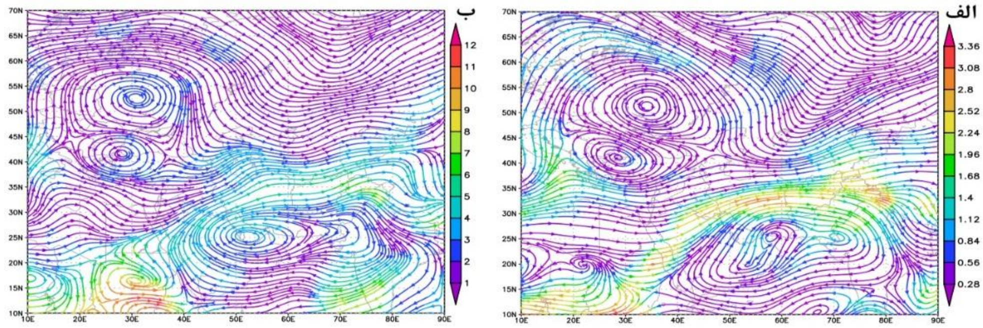


شکل ٦- نقشه رودبادهای جوی الف: روز ۷ اردیبهشت ب: روز ۸ اردیبهشت تراز ۲۵۰ ج: روز ۱۰ اردیبهشت د: روز ٦ اردیبهشت تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال

٤-٤. وزش رطوبتی

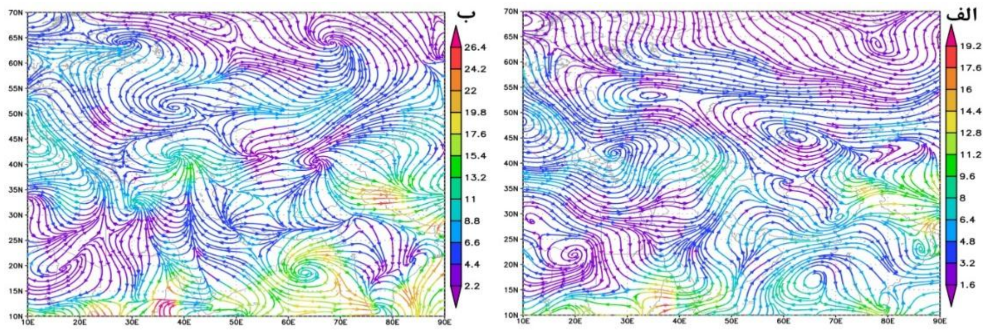
در زمان رخداد بارش سنگین استان چهارمحال و بختیـاری منبـع عمـده تـأمین رطـوبتی تـراز ۵۰۰ هکتوپاسـکال دریای سرخ می‌باشد. دومین منبع تأمین کننده رطوبت در این تراز جوی خلـیج‌فـارس بـوده کـه البتـه ادغـام رطوبـت حاصل از دریای سرخ با رطوبت حاصل از خلیج‌فارس علت ریزش شدید بارش در این منطقـه بـوده اسـت. در ایـن تراز همچنین نقش دریای مدیترانه در تأمین رطوبت کاملاً مشخص است. از طرفی یک منطقـه همگرایـی رطـوبتی بـر روی تنگه هرمز مستقر بوده که رطوبت موجود بر روی خلیج عمان را با خلیج‌فارس ادغام کرده و وارد جنـوب شـرق و جنوب ایران می‌کند. در این تراز جوی اثری از تغذیه رطوبتی خزر و دریای سیاه مشـاهده نمـی‌شـود. در تـراز ٦۰۰ هکتوپاسکال دوباره دریای سرخ تأمین کننده اصلی رطوبت بارش بوده است. اما همگرایـی رطـوبتی موجـود بـر روی تنگه هرمز باعث انتقال و ادغام رطوبت خلیج عمان، دریای عرب و خلیج‌فارس با رطوبت دریـای سـرخ شـده اسـت. در این تراز دریای مدیترانه و دریای سیاه هم نقش عمده‌ای در تأمین رطوبت نواحی غرب کشور را داشـته‌انـد. تحلیـل نقشه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال حاکی از ادغام شدید رطوبت حاصل از مدیترانه، دریای سرخ، خلیج عمان، دریـای عـرب

و خلیج‌فارس است. منبع عمده رطوبت در این تراز ابتدا دریای سرخ می‌باشد و دریای مدیترانه، دریای عمان و خلیج‌فارس در رده بعدی در تغذیه رطوبتی این بارش سنگین نقش داشتند.



شکل ۷- نقشه وزش رطوبت الف: روز ۸ اردیبهشت تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ب: روز ۷ اردیبهشت تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال

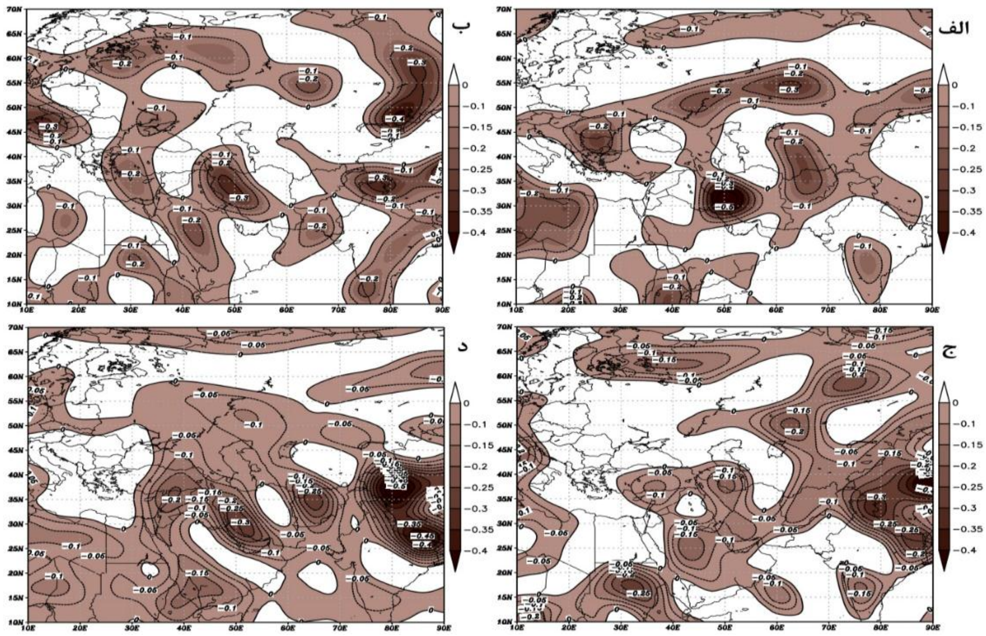
در ترازهای ۸۵۰، ۹۲۵ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال نقش اصلی تغذیه رطوبتی بارش سنگین را خلیج‌فارس بر عهده داشته است. اما نباید نقش سایر منابع رطوبتی را نادیده گرفت. در روزهایی که بارش رخ داده در ترازهای ذکر شده نقش خلیج‌فارس به صورت منفرد و در خیلی از مواقع به صورت مکمل و ترکیبی از سایر منابع رطوبتی در تأمین رطوبت بارش چهارمحال و بختیاری به چشم می‌خورد. شکل گیری مناطق همگرایی و واگرایی رطوبتی بر روی اقیانوس هند، دریای سیاه، شمال شرق عربستان و جنوب خلیج‌فارس ضمن جذب و حمل رطوبت دریای سیاه، اقیانوس هند، دریای عرب، دریای عمان و از سویی با گذر خود از روی منابع بزرگ رطوبتی از قبیل مدیترانه و دریای سرخ تغذیه دوچندان شده و در برخی روزها به صورت منفرد و در برخی دیگر به صورت منفرد و ترکیبی از منابع رطوبتی مختلف وارد منطقه مورد مطالعه شده و رطوبت لازم جهت رخ داد بارش ۵۵۱/۳ میلی متری استان چهارمحال و بختیاری در طی ۸ روز بارشی را فراهم کرده است.



شکل ۸- نقشه وزش رطوبت الف: روز ۱۰ اردیبهشت تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال ب: روز ۹ اردیبهشت تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال

٥-٤. امگا

نقشه‌های سرعت قائم هوا (امگا) در جو در کلیه ترازهـای ٥٠٠، ٦٠٠، ٧٠٠، ٨٥٠، ٩٢٥، ١٠٠٠ هکتوپاسـکال نشـان دهنده منفی بودن مقادیر بر روی قسمت بزرگی از ایران و منطقه مورد مطالعه مـی‌باشـد کـه دلیـل قـاطعی بـر رخـداد بارش سنگین است. مقادیر منفی نشان دهنده بالا سو بودن هوا در جو یا به عبارتی صعود هوا و تقویـت همرفـت دارد که در تمامی ترازهای یاد شده مقادیر منفی مستقر بوده که نشان دهنده ناپایداری شدید و واگرایـی شـدید هـوا در ایـن روز بوده است. با شکل گیری این الگو شرایط برای صعود هوا کـاملاً مهیـا بـوده و در کنـار تغذیـه رطـوبتی از منـابع مختلف و همراه بودن عامل صعود هوا و شدت یافتن شرایط کژفشاری و ناهنجاری‌هـای جـوی شـرایط بـرای ایجـاد بارش سنگین فراهم شده است.

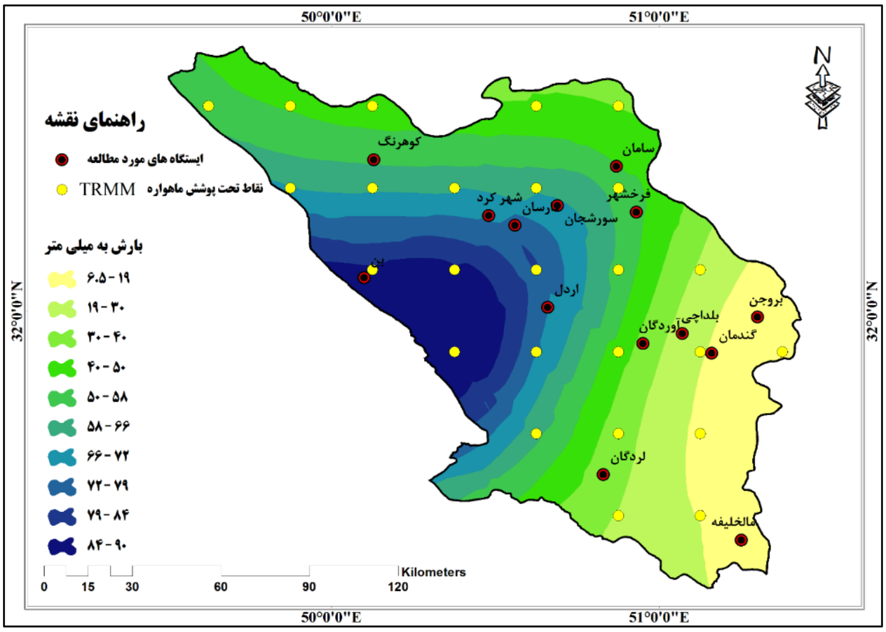


شکل ٩- نقشه امگای الف: روز ١٢ اردیبهشت تراز ٥٠٠ هکتوپاسکال ب: روز ١٠ اردیبهشت تراز ٧٠٠ هکتوپاسکال ج: روز ٨ اردیبهشت تراز ٨٥٠ هکتوپاسکال د: روز ١١ اردیبهشت تراز ١٠٠٠ هکتوپاسکال

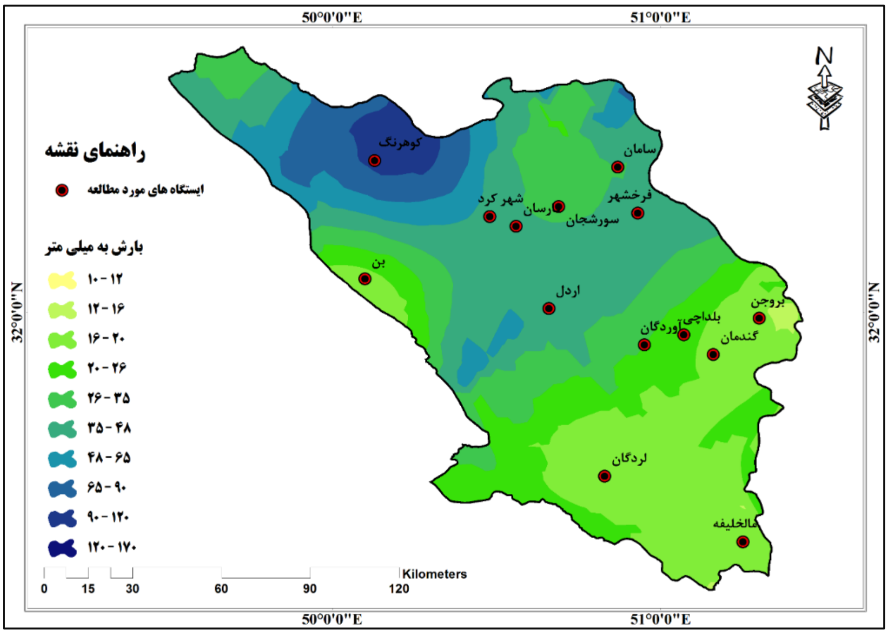
٦-٤. ارزیابی ماهواره TRMM

مقایسه مقدار بارش تخمین زده شده توسط ماهواره TRMM با مقدار بارش ثبـت شـده ایسـتگاه‌هـای مشـاهده‌ای نشان از تخمین ضعیف ماهواره TRMM در برآورد بارش این منطقه دارد. با نگاهی به اشکال (١٠ و ١١) ایـن امـر بـه وضوح قابل تشخیص می‌باشد. با توجه به نقشه پهنه بندی شده بارش ایستگاه‌های مشاهده شده (شـکل ١١) بیشـترین میزان بارش رخ داده منوط به منطقه شمال غرب استان یا به عبـارتی ایسـتگاه کوهرنـگ بـوده و کمتـرین میـزان آن در قسمت جنوب شرقی استان چهارمحال و بختیاری مشاهده می‌گردد. براسـاس تخمینـی کـه توسـط مـاهواره TRMM

صورت گرفته (شکل ۱۰) بیشترین مقدار بارش رخ داده در غرب استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد و منطقه کوهرنگ که در طی ۸ روز موج بارشی بالغ بر ۱۷۲/۳ میلی متر بارندگی داشته با مقدار بارش ۵۶ میلی متر مشخص می‌گردد. با توجه به نتایج حاصل شده می‌توان گفت علارغم اینکه نقاط ۲۵ در ۲۵ درجه ماهواره TRMM که تقریباً جای جای نقاط منطقه مورد مطالعه را با ۲۵ نقطه شبکه تحت پوشش قرار داده در این منطقه که بخشی از منطقه کوهستانی زاگرس بوده و دارای توپوگرافی پیچیده از نظر ساختار ناهمواری‌ها می‌باشد قادر به تخمین درست مقدار بارش نبوده و مقادیر بارش ایستگاه‌های مشاهده‌ای اختلاف تقریباً زیادی با تخمین صورت گرفته توسط ماهواره TRMM دارد. با توجه به نمودار میله‌ای بارش (شکل ۱۲ الف) ایستگاه‌های مطالعاتی و بارش تخمین زده شده توسط ماهواره TRMM به عینه مشاهده می‌گردد که به غیر از مقدار بارش دو ایستگاه گندمان و بروجن که تقریباً نزدیک به هم می‌باشد در بقیه ایستگاه‌ها یا تخمین کم و یا بیشتر از مقدار بارش رخ داده در ایستگاه‌ها توسط ماهواره TRMM زده شده است که تخمین بیشتر از مقادیر مشاهده‌ای در بین ایستگاه‌ها بیشتر به چشم می‌خورد. از طرفی نمودار پراکندگی (شکل ۱۲ ب) بین مقدار بارش ثبت شده ایستگاه‌های مطالعاتی با مقدار بارش تخمین زده شده توسط ماهواره TRMM نشانگر برآورد ضعیف و ارتباط بسیار ضعیف این دو مقدار با هم می‌باشد به‌نحوی‌که مقدار ضریب همبستگی و ضریب تعیین آن به ترتیب برابر با ۰/۲۲ و ۰/۰۵۰۷ می‌باشد که گواهی بر این مدعاست.



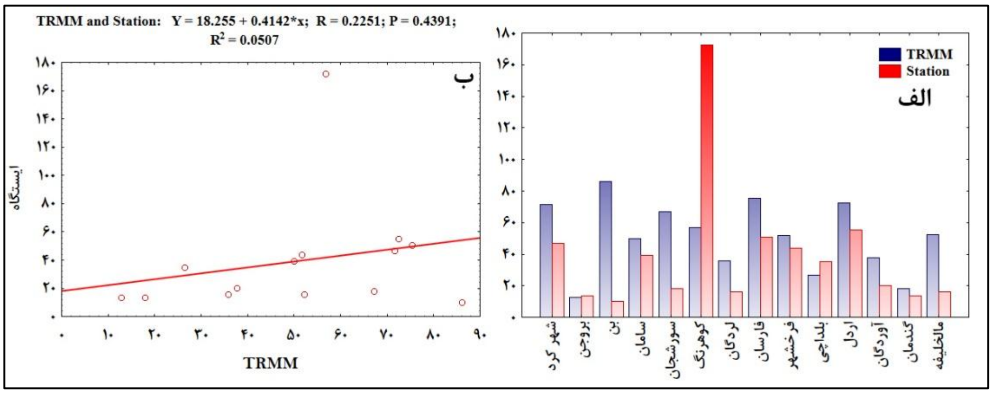
شکل ۱۰- نقشه پهنه بندی شده بارش ماهواره TRMM



شکل ۱۱- نقشه پهنه بندی شده بارش ثبت شده توسط ایستگاه‌ها

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه و مقدار بارش ثبت شده توسط ایستگاه‌های زمینی و ماهواره TRMM

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع ایستگاه	مجموع بارش ۸ روزه به میلی متر	مقدار برآورد بارش توسط ماهواره TRMM
شهر کرد	۵۰/٤۸	۳۲/۲۹	۲۰۵۰	٤۷	۷۱/٦۰
بروجن	۵۱/۳	۳۱/۹۸	۲۲٦۰	۱۳/٤	۱۲/۷٤
بن	۵۰/۱	۳۲/۱	۲۲۲۸	۱۰/۲	۸٦/۱۰
سامان	۵۰/۸۷	۳۲/٤٤	۲۰۷۵	۳۹/۳	۵۰/۰۲
سورشجان	۵۰/٦۹	۳۲/۳۲	۲۱۳۰	۱۸/۲	٦۷/۱۳
کوهرنگ	۵۰/۱۳	۳۲/٤٦	۲۳٦۵	۱۷۲/۳	۵٦/۸۲
لردگان	۵۰/۸۳	۳۱/۵	۱٦۱۱	۱۵/۹	۳۵/۸۳
فارسان	۵۰/۵٦	۳۲/۲٦	۲۰۵۹	۵۰/۷	۷۵/۲۸
فرخشهر	۵۰/۹۳	۳۲/۳	۲۰۷۳	٤۳/۹	۵۱/٦۰
بلداچی	۵۱/۷	۳۱/۹۳	۲۲۳۱	۳۵/۲	۲٦/٤۵
اردل	۵۰/٦٦	۳۲/۱	۱۸۷۵	۵۵/٤	۷۲/۵۳
آوردگان	۵۰/۹۵	۳۱/۹	۲٤۱۰	۲۰/٤	۳۷/۷۰
گندمان	۵۱/۱٦	۳۱/۸۷	۲۲٤۷	۱۳/٤	۱۷/۹۵
مالخلیفه	۵۱/۲۵	۳۱/۳	۱۷٦۲	۱٦	۵۲/۲٤
مجموع بارش به میلی‌متر				**۵۵۱/۳**	**٦۷٦/۹۹**



شکل ۱۲- الف نمودار مقایسه‌ای مقدار بارش ثبت شده توسط ایستگاه‌های زمینی و ماهواره TRMM ب: نمودار پراکندگی بارش ایستگاه‌های زمینی و ماهواره TRMM

۵. نتیجه‌گیری

در این پژوهش موج بارشی ابر سنگین ۵۵۱ میلی‌متری ۸ روزه از مورخه ۸۸/۲/۶ تا ۸۸/۲/۱۳ استان چهارمحال و بختیاری با رویکرد ترکیبی همدید – ماهواره‌ای مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که در زمان رخداد بارش سنگین کوهرنگ در روزهای ابتدایی پرفشار بسیار قوی بر روی مرکز و جنوب اروپا، خزر و ناحیه شمالی آن و غرب چین مستقر شده و زبانه‌هایی از آن بر روی اکثر نقاط ایران کشیده می‌شود. کم فشارهایی هم بر روی شمال و شمال شرق آفریقا، شمال شرق عربستان، هندوستان و پاکستان وجود دارد که زبانه‌هایی از آنها به سمت نواحی جنوبی کشور هم کشیده شده است. به دلیل اختلاف فشار زیاد حاصل شده بین زبانه‌های پرفشار کشیده شده از پرفشارهای واقع بر روی شمال منطقه مورد مطالعه به داخل ایران و کمفشارهای واقع بر روی جنوب منطقه مورد مطالعه، ناپایداری لازم جهت صعود توده هوای مرطوب فراهم شده است. از سویی دیگر در روزهای پایانی بارشی این مکانیزم تغییر پیدا کرده و سیستمی سراسر سیکلونیک منطقه را احاطه می‌کند که به نوبه خود شرایط مساعد جهت ایجاد جوی کژفشار بر فراز منطقه را فراهم کرده است. تحلیل نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل گواه بر وجود موج بلوکه شده در جنوب اروپا، ترکیه، شرق مدیترانه می‌باشد. همچنین فرودهای عمیقی که متشکل از بلوکینگ‌ها می‌باشند در ترازهای ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال بر جنوب غرب، غرب، شمال غرب ایران کشیده شده است. تحلیل نقشه‌های حرکات قائم هوا نشان از وجود جریان صعودی و ناپایداری در تمامی ترازهای مورد مطالعه می‌باشد. نقشه‌های پیچانه سطوح فوقانی جو در ترازهای ۸۵۰ ۹۲۵ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال نشان دهنده مقادیر منفی و کژفشاری بودن شدید هوا است. در ترازهای ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال وظیفه تغذیه رطوبتی این بارش سنگین بر عهده دریای سرخ بوده که با منابع رطوبتی دیگر ادغام گشته و در ترازهای نزدیک سطح زمین ترازهای ۸۵۰ ۹۲۵ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال نقش تغذیه رطوبتی خلیج‌فارس همراه با ترکیب سایر منابع رطوبتی کاملاً آشکار

می‌گردد. تحلیل نقشه‌های رودباد ترازهای ۲۵۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال نشان دهنده وجود رودباد با سرعت هسته مرکزی زیاد در اکثر روزهای بارشی بر روی بخش وسیعی از ایران می‌باشد. نتایج حاصل شده از تحلیل همدید این پژوهش همسوی با نتایج سایر پژوهشگران (صمدی ۱۳۸٦، امیدوار ۱۳۸۷، رضایی ۱۳۸۸، محمدی و مسعودیان ۱۳۸۸، مسعودیان و محمدی ۱۳۸۹، پرنده خوزانی و لشکری ۱۳۸۹، گندمکار ۱۳۸۹) می‌باشد که به بررسی همدید بارش‌های سنگین و سیلابی وآشکارسازی علل جوی آن در نقاط مختلف ایران پرداختند.

نتایج حاصل شده از ارزیابی ماهواره TRMM در برآورد بارش این موج ابر سنگین بارشی، بیانگر دقت نه چندان خوب آن در این منطقه دارد. ماهواره TRMM در بیشتر ایستگاه‌ها برآورد مازادی نسبت به داده‌های ثبت شده داشته است. با توجه به نقشه پهنه‌بندی شده بارش مشاهده‌ای با بارش تخمینی TRMM(اشکال ۱۰ و ۱۱) اختلاف مکانی برآوردی آن به خوبی نمایان می‌شود. لذا می‌توان گفت در مناطق پیچیده توپوگرافی همانند منطقه چهارمحال و بختیاری که به دلیل واقع شدن در منطقه کوهستانی زاگرس از توپوگرافی پیچیده‌ای برخوردار است نمی‌توان به مقادیر برآوردی این ماهواره اعتماد کرد. که نتایج بدست آمده با نتایج پژوهشگران (حجازی زاده و همکاران ۱۳۹۱، مسعودیان و همکاران ۱۳۹۳) که به عدم دقت لازم این ماهواره در برآورد بارش نقاط کوهستانی اشاره داشتند همسو می‌باشد.

کتابنامه

اسفندیاری درآباد، فریبا؛ عالی‌جهان، مهدی؛ رحیمی، مسعود؛ ۱۳۹۳. ارزیابی مدل‌های جبری و زمین آماری در تخمین توزیع مکانی سطح ایستابی دشت اردبیل. نشریه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۳(۲)، صص٦۲ – ٤٤.

امیدوار، کمال؛ ۱۳۸۷. بررسی سیلاب براساس موقعیت‌های سیستم‌های سینوپتیکی در استان یزد. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۳(۸۸)، صص١٦٥–١٣٧.

امیدوار، کمال؛ نبوی‌زاده، معصومه؛ ۱۳۹۳. پیش‌بینی بارش روزانه استان کرمان با شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: کرمان، بافت و میانده جیرفت. جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، ۱۲(۲۳)، صص٢١٤–١٩٧.

پرنده خوزانی، اکرم؛ لشکری، حسین؛ ۱۳۸۹. بررسی سینوپتیک سیستم‌های سیل زا در جنوب ایران. تحقیقات منابع آب ایران، ٦(۲)، صص۷۳–٦٦.

حجازی زاده، زهرا؛ علیجانی، بهلول؛ ضیاییان، پرویز؛ کریمی، مصطفی؛ رفعتی، سمیه؛ ۱۳۹۱. ارزیابی بارش ماهواره‌ای 3B43 و مقایسه آن با مقادیر حاصل از تکنیک درون‌یابی کریجینگ. نشریه سنجش از دور و GIS ایران، ٤(۳)، صص٦٤ – ٤٩.

رحیمی، داریوش؛ خوشحال، جواد؛ علیزاده، تیمور؛ ۱۳۸۹. تحلیل آماری – هم‌دیدی بارش‌های سنگین مناطق خشک ایران (مطالعه موردی: استان کرمان. مجله جغرافیا و توسعه‌ی ناحیه‌ای، ۸(١٤)، صص٦٩ – ٥١.

رسولی، علی اکبر؛ نصیری قلعه بین، سحر؛ ولی زاده کامران، خلیل؛ ۱۳۹۳. مدلسازی توزیع مکانی بارش‌های رعد و برقی مناطق کوهستانی شمال غرب ایران، سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۲. نشریه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ٤٦ (٤)، صص٤١٧ – ٤٠٧.

رضایی، پرویز؛ ۱۳۸۸. تحلیل همدیدی رخداد سیلاب در حوضه ماسوله. پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، ٤۱(٦۸)، صص۱۱۸–۱۰۵.

رنجبر سعادت آبادی، عباس؛ توحیدی سردشت، آزاد؛ ۱۳۹۳. مطالعه بارش‌های فرین فصل بهار استان آذربایجان غربی (۲۰۰۸–۲۰۰۳. مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، ۱۲(۲۲)، صص ۱٦۹–۱۵۱.

شیروانی، امین؛ فخاری زاده شیرازی، الهام؛ ۱۳۹۳. مقایسه مقادیر مشاهداتی بارش و برآوردهای ماهواره TRMM در استان فارس. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۲(۲)، صص۱۵ – ۱.

صلاحی، برومند؛ عالی‌جهان، مهدی؛ ۱۳۹۲. تحلیل سینوپتیک مخاطرت اقلیمی شهرستان یاسوج (مطالعه موردی: بارش سنگین ۲۰ اسفند ۱۳۸۹. مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی،۲(۵)، صص ۸۹ – ۷۳.

صمدی، زهرا؛ ۱۳۸٦. تحلیل سینوپتیکی بارش سیل زای پاییز سال ۱۳۸۲ ساحل جنوبی دریای خزر. مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان، ٦(۲۷)، صص۹٤–۷۷.

عزیزی، قاسم؛ صمدی، زهرا؛ ۱۳۸٦. تحلیل الگوی سینوپتیکی ۲۸ مهرماه ۱۳۸۲ استان‌های گیلان و مازندران. پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۹(٦۰)، صص٦۱–۷٤.

قویدل رحیمی، یوسف؛ ۱۳۸۹. نگاشت و تفسیر سینوپتیک اقلیم. انتشارات سها دانش، تهران.

قویدل رحیمی، یوسف؛ ۱۳۹۰. نگاشت و تحلیل همگرایی جریان رطوبت جو طی بارش فوق سنگین ناشی از توفان حاره‌ای فت در سواحل چابهار. برنامه ریزی و آمایش فضا، ۱۵(۲)، صص۱۱۸–۱۰۱.

قویدل رحیمی، یوسف؛ عالی‌جهان، مهدی؛ اوجی، روح‌الله؛ ۱۳۹۳. بررسی مدل‌های جبری و زمین آماری در پهنه‌بندی بارش استان اردبیل. فصلنامه علمی – پژوهشی فضای جغرافیایی، ۱۵(۵۰)، صص۲۳۱ – ۲۰۹.

کاویانی، محمد رضا؛ علیجانی، بهلول؛ ۱۳۸۸. مبانی آب و هواشناسی. انتشارات سمت، تهران.

کرمی، فریبا؛ شیراوند، هنگامه؛ درگاهیان، فاطمه؛ ۱۳۸۹. بررسی الگوی سینوپتیک سیل بهمن ۱۳۸٤ شهرستان پلدختر. فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی، ۲(٤)، صص۱۰٦–۹۹.

گندمکار، امیر؛ ۱۳۸۹. بررسی همدید بارش‌های شدید در نواحی جنوبی استان بوشهر. چشم انداز جغرافیایی، ٤(۱۰)، صص۱۵۷–۱٤۳.

لشگری، حسن؛ اصغرپور، منیره؛ متکان، علی اکبر؛ ۱۳۸٦. تحلیل سینوپتیکی عوامل ایجاد بارش‌های سیل زا در استان گلستان. فصلنامه مدرس علوم انسانی، ۱۲(۲)، صص۲۱۱–۱۸۱.

محمدی، بختیار؛ مسعودیان، سیدابوالفضل؛ ۱۳۸۸. تحلیل همدید بارش‌های سنگین ایران مطالعه موردی: آبان ماه ۱۳۷۳. جغرافیا و توسعه، ۸(۱۹)، صص ۷۰–٤۷.

محمدی‌ها، امیر؛ غیبی، ابوالحسن؛ خوارزمی، سعیده؛ ریحانی پروری، محمد؛ بهادری، فرشته؛ ۱۳۹۲. مطالعه مورد همسنجی متغیر بارش تجمعی روزانه برآوردی ماهواره TRMM، رادار تهران و ایستگاه‌های باران سنجی. پانزدهمین کنفرانس دینامیک شاره‌ها، بندرعباس، دانشگاه هرمزگان.

مرادی، حمید رضا؛ ۱۳۸۳. پیش بینی وقوع سیلاب‌ها براساس موقعیت‌های سینوپتیکی در ساحل جنوبی دریای خزر. پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۸(۲)، صص ۱۳۱-۱۰۹.
مسعودیان، ابوالفضل؛ محمدی، بختیار؛ ۱۳۸۹. تحلیل فراوانی رودبادهای مرتبط با رخداد بارش‌های ابر سنگین ایران. تحقیقات منابع آب ایران، ۷(۲)، صص ۹۱-۸۱.
مسعودیان، سید ابوالفضل؛ رعیت پیشه، فاطمه؛ کیخسروی کیانی، محمد صادق؛ ۱۳۹۳. معرفی و مقایسه پایگاه‌های داده بارشی TRMM و اسفزاری. مجله ژئوفیزیک ایران، ۸(٤)، صص ۱۵ – ۳۱.
یاراحمدی، داریوش؛ مریانجی، زهرا؛ ۱۳۹۰. تحلیل الگوی دینامیکی و همدیدی بارش‌های سنگین در جنوب غرب خزر و غرب ایران (مطالعه موردی: بارش). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ٤۳(٧٦)، صص۱۲۰-۱۰۵.
Almazroui, M. (2011). Calibration of TRMM rainfall climatology over Saudi Arabia during 1998–2009. *Atmospheric Research, 99*(3), 400-414.
Baik, J., & Choi, M. (2015). Spatio-temporal variability of remotely sensed precipitation data from COMS and TRMM: Case study of Korean peninsula in East Asia. *Advances in Space Research, 56*(6), 1125-1138.
Bocheva, L., Marinova, T., Simeonov, P., & Gospodinov, I. (2009). Variability and trends of extreme precipitation events over Bulgaria (1961–2005). *Atmospheric Research, 93*(1), 490-497.
Cavalcanti, I. F. A. (2012). Large scale and synoptic features associated with extreme precipitation over South America: A review and case studies for the first decade of the 21st century. *Atmospheric Research, 118*, 27-40.
Charabi, Y., & Al-Hatrushi, S. (2010). Synoptic aspects of winter rainfall variability in Oman. *Atmospheric Research, 95*(4), 470-486.
Doswell III, C. A. (1987). The distinction between large-scale and mesoscale contribution to severe convection: A case study example. *Weather and Forecasting, 2*(1), 3-16.
Doswell III, C. A., Brooks, H. E., & Maddox, R. A. (1996). Flash flood forecasting: An ingredients-based methodology. *Weather and Forecasting, 11*(4), 560-581.
Doswell III, C. A., Ramis, C., Romero, R., & Alonso, S. (1998). A diagnostic study of three heavy precipitation episodes in the western Mediterranean region. *Weather and Forecasting, 13*(1), 102-124.
Fleming, K., & Awange, J. L. (2013). Comparing the version 7 TRMM 3B43 monthly precipitation product with the TRMM 3B43 version 6/6A and BUREAU of Meteorology datasets for Australia. *Australian Meteorological and Oceanographic Journal, 63*, 421-426.
Gabler, R. E., Petersen, J. F., Trapasso, L. M., & Sack, D. (2008). *Physical geography*. USA: Brooks/Cole, Cengage Learning.
Gu, H. H., Yu, Z. B., Yang, C. G., Ju, Q., Lu, B. H., & Liang, C. (2010). Hydrological assessment of TRMM rainfall data over the Yangtze river basin. *Water Science Engineering, 3*(4), 418-430.
Hidalgo-Muñoz, J. M., Argüeso, D., Gámiz-Fortis, S. R., Esteban-Parra, M. J., & Castro-Díez, Y. (2011). Trends of extreme precipitation and associated synoptic patterns over the southern Iberian Peninsula. *Journal of Hydrology, 409*(1), 497-511.
Huffman, G. J., & Bolvin, D. T. (2013). TRMM and other data precipitation data set documentation. *NASA, Greenbelt*, USA, 1-40.
Huffman, G. J., Bolvin, D. T., Nelkin, E. J., Wolff, D. B., Adler, R. F., Gu, G., & Stocker, E. F. (2007). The TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear,

combined-sensor precipitation estimates at fine scales. *Journal of Hydrometeorology, 8*(1), 38-55.
Kavyani, M. R., & Alijahni, B. (2009). *Fundamental of climatology*. Tehran: Samt Press.
Kummerow, C., Barnes, W., Kozu, T., Shiue, J., & Simpson, J. (1998). The tropical rainfall measuring mission (TRMM) sensor package. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 15*(3), 809-817.
Kummerow, C., Simpson, J., Thiele, O., Barnes, W., Chang, A. T. C., Stocker, E., & Nakamura, K. (2000). The status of the tropical rainfall measuring mission (TRMM) after two years in orbit. *Journal of Applied Meteorology, 39*(12), 1965-1982.
Liu, Z., Ostrenga, D., Teng, W., & Kempler, S. (2012). Tropical rainfall measuring mission (TRMM) precipitation data and services for research and applications. *Bulletin of the American Meteorological Society, 93*(9), 1317-1325.
Mantas, V. M., Liu, Z., Caro, C., & Pereira, A. J. S. C. (2015). Validation of TRMM multi-satellite precipitation analysis (TMPA) products in the Peruvian Andes. *Atmospheric Research, 163,* 132-145.
Mastrangelo, D., Horvath, K., Riccio, A., & Miglietta, M. M. (2011). Mechanisms for convection development in a long-lasting heavy precipitation event over southeastern Italy. *Atmospheric Research, 100*(4), 586-602.
Moffitt, C. B., Hossain, F., Adler, R. F., Yilmaz, K. K., & Pierce, H. F. (2011). Validation of a TRMM-based global flood detection system in Bangladesh. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 13*(2), 165-177.
Nastos, P. T., Kapsomenakis, J., & Philandras, K. M. (2015). Evaluation of the TRMM 3B43 gridded precipitation estimates over Greece. *Atmospheric Research*. 169, 1-18.
Norbiato, D., Borga, M., Sangati, M., & Zanon, F. (2007). Regional frequency analysis of extreme precipitation in the eastern Italian Alps and August 29, 2003 flash flood. *Journal of Hydrology, 345*(3), 149-166.
Pombo, S., & de Oliveira, R. P. (2015). *Evaluation of extreme precipitation estimates from TRMM in Angola*. *Journal of Hydrology, 523,* 663-679.
Prakash, S., Mitra, A. K., Agha Kouchak, A., & Pai, D. S. (2015). Error characterization of TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA-3B42) products over India for different seasons. *Journal of Hydrology*. 529, 1-11.
Schumacher, R. S. (2009). *Mechanisms for quasi-stationary behavior in simulated heavy-rain-producing convective systems*. *Journal of the Atmospheric Sciences, 66*(6), 1543-1568.
Schumacher, R. S., & Johnson, R. H. (2005). *Organization and environmental properties of extreme-rain-producing mesoscale convective systems*. *Monthly Weather Review, 133*(4), 961-976.
Schumacher, R. S., & Johnson, R. H. (2008). *Mesoscale processes contributing to extreme rainfall in a midlatitude warm-season flash flood*. *Monthly Weather Review, 136*(10), 3964-3986.
Seibert, P., Frank, A., & Formayer, H. (2007). *Synoptic and regional patterns of heavy precipitation in Austria*. *Theoretical and Applied Climatology, 87*(1-4), 139-153.
Treble, P. C., Budd, W. F., Hope, P. K., & Rustomji, P. K. (2005). *Synoptic-scale climate patterns associated with rainfall δ 18 O in Southern Australia*. *Journal of Hydrology, 302*(1), 270-282.
Twardosz, R. (2010*). An analysis of diurnal variations of heavy hourly precipitation in Kraków using a classification of circulation types over southern Poland*. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 35*(9), 456-461.
www.chaharmahalmet.com

www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalisis
www.irimo.ir .com